

химического регулятора / В. Л. Колесников, В. С. Малыгин // Известия вузов: Лесной журнал. – Вып. 1, 1978, С. 110–113.

2 Колесников, В. Л. Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций / В. Л. Колесников – Мн.: БГТУ, 2004. – 242 с.

3 Колесников, В. Л. Системный анализ производственных процессов в полиграфии / В. Л. Колесников. – Мн.: БГТУ, 2011. – 360 с.

УДК 676.017.2

Я. В. Казаков, доц., д-р техн. наук;  
Д. Г. Чухчин, доц., канд. техн. наук;  
И. В. Лебедев, асп.; М. А. Архилин, асп.;  
К. А. Романенко, магистрант

[j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru) (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, РФ)

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА  
ПОВЕРХНОСТИ ВОЛОКНА ПРИ ХАРАКТЕРИСТИКЕ  
БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

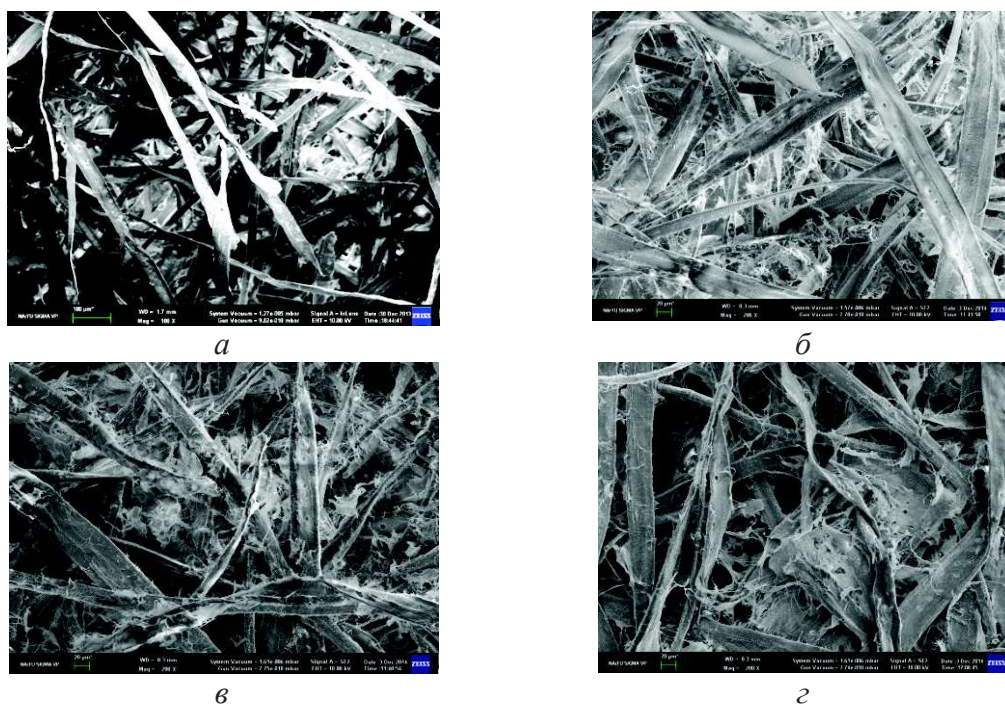
При изучении формирования бумагообразующих свойств волокон в ходе изготовления волокнистого целлюлозного материала ключевым моментом является получение количественной и качественной информации о состоянии поверхности волокон. Поверхность волокон определяет силы взаимодействия волокна с компонентами бумажной массы и оказывает определяющее влияние на процессы формирования волокнистой структуры на сетке БДМ, а также механические свойства и деформационное поведение образцов. Получение новой информации о поверхности волокна является важным шагом при совершенствовании технологии переработки растительного сырья при получении бумаги и картона. В качестве количественного критерия принимается величина удельной поверхности [1], которая увеличивается в процессе удаления лигнина и, в большей степени, при механическом воздействии – размоле. Определение величины удельной поверхности растительных волокон является одним из важных элементов исследований [4].

В эксперименте использовали лабораторные отливки хвойной сульфатной беленой целлюлозы (не содержащей остаточного лигнина), а также небеленой целлюлозы с высоким и низким содержанием лигнина (число Каппа 51,9 и 25,4), изготовленные на листоотливном аппарате BBS-2 (Estanit) типа Rapid-Ketten<sup>1</sup>. Из размолотой до 16, 20, 30 и 60-ШР на мельнице Йокро<sup>1</sup> целлюлозы были изготовлены и испытаны стандартные отливки с массой 75 г/м<sup>2</sup>. Для исследования поверхности образцов пробы отбирали в виде влажной отливки, снятой с

сетки листоотливного аппарата, с двух сторон покрытой фильтровальным картоном. Влажные образцы подвергали криофиксации (помещались в сосуд с жидким азотом), и высушивали методом лиофильной сушки на установке Labconco (FreeZone 2,5 L) [2, 3, 4].

Электронные фотографии поверхности образцов выполнены на сканирующем электронном микроскопе ZEISS «SIGMA VP»<sup>2</sup> (детектор InLens, ускоряющее напряжение 10 кВ). Для улучшения качества снимков образцы покрывали золотопалладиевым слоем толщиной 5 нм с помощью напылительной установки Q150T ES (Quorum)<sup>2</sup>.

В отличие от образцов, высушенных стандартным способом в сушильной камере листоотливного аппарата, при лиофильном высушивании волокна сохраняют объемную структуру и зафиксированы в состоянии, характерном для этапа изготовления бумаги – формирования бумажного полотна из размолотой целлюлозы [2, 3]. Леофильно высушенный лист имеет рыхлую структуру, на волокнах наблюдаются фрагменты первичной стенки  $P$  и микрофибриллы, образовавшиеся за счет расщепления слоя  $S_1$  клеточной стенки, и, благодаря криофиксации, незадействованных в межволоконных связях. На рис. 1 представлены примеры микрофотографий леофильно высушенных образцов с числом Каппа 25,4 с различной степенью помола.



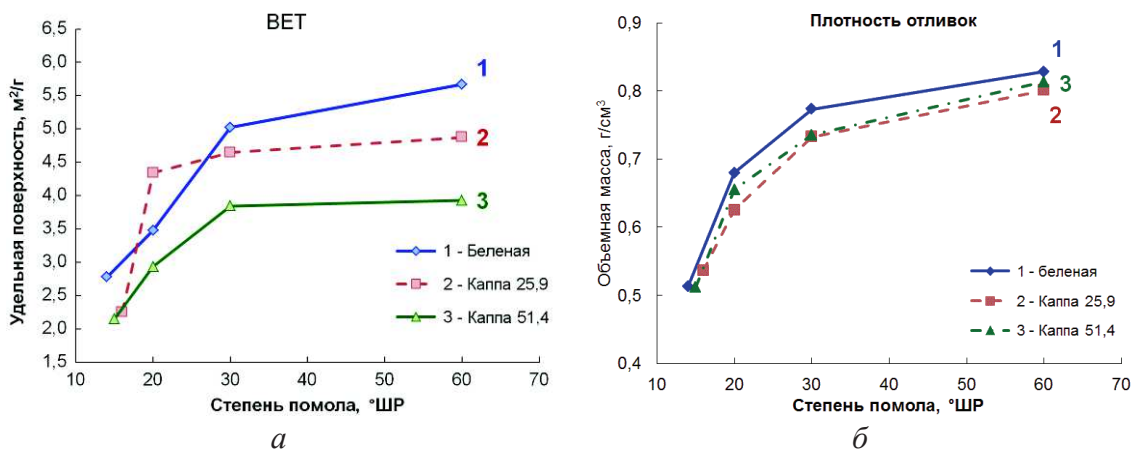
$a$  – 16°ШР;  $б$  – 20°ШР;  $в$  – 30°ШР;  $г$  – 60°ШР

**Рисунок 1 - Микрофотографии поверхности образцов хвойной небеленой сульфатной целлюлозы с числом Каппа 25,4 (получены на электронном микроскопе Zeiss SIGMA VP<sup>2</sup>)**

На микрофотографиях четко прослеживается увеличение общей поверхности волокон при размоле. Количественные данные получены

с помощью автоматического анализатора удельной поверхности и пористости ASAP 2020mp [1]. Анализ данных показал, что наилучшие результаты дает расчет удельной площади поверхности по методу Брунауэра–Эммета–Теллера (БЭТ) [1, 4], а величина удельной поверхности растет в процессе размола, рис. 2 а. Установлено, что содержание лигнина определяет скорость развития поверхности в процессе размола, которая на начальном этапе выше для небеленой целлюлозы с низким содержанием лигнина (25,4 ед.Каппа), за счет разрушения наружных слоев клеточной стенки, ослабленных в процессе делигнификации, на короткие фрагменты, а при глубоком размоле – для беленой целлюлозы за счет продольного отщепления микрофибрилл.

Зависимости изменения поверхности волокон в процессе размола соответствуют изменению величины межволоконных сил связи (по Иванову) и объемной массы отливок (рис. 2 б), которые во многом определяют деформационные и прочностные свойства технической целлюлозы, и подтверждают существование тесной зависимости между величиной поверхности волокон и упругими свойствами материала. Коэффициенты парной корреляции ( $r$ ) величины поверхности



а – удельная поверхность по БЭТ; б – объемная масса отливок  
**Рисунок 2 - Изменение свойств образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы в процессе размола**

(по БЭТ) и бумагообразующих свойствами целлюлозы составляют: для межволоконных сил связи (по Иванову)  $r = 0,69$ ; для объемной массы  $r = 0,83$ ; для индекса жесткости при растяжении TSI  $r = 0,82$ ; для начального модуля упругости  $r = 0,83$ ; для модуля упругости в области предразрушения  $r = 0,51$ ; для разрывной длины  $r = 0,76$ ; для деформации разрушения  $r = 0,76$ ; для работы разрушения  $r = 0,83$ ; для жесткости при изгибе  $r = -0,07$ .

Выводы по работе:

1) Для количественной оценки поверхности целлюлозных волокон целесообразно использование методики с применением криофиксации и лиофилизации влажных отливок, и последующим анализом на анализаторе удельной поверхности и пористости ASAP.

2) Визуально фиксируемое увеличение поверхности при размоле технической целлюлозы подтверждено количественно: от 2 м<sup>2</sup>/г для целлюлозы после розпуска до 4...6 м<sup>2</sup>/г после размол до 60°ШР, причем основной рост поверхности наблюдается при размол до 30°ШР. При этом удаление лигнина из целлюлозы способствует более интенсивному развитию поверхности при размолу.

3) По результатам корреляционного анализа установлена связь между состоянием поверхности волокна и бумагообразующими свойствами сульфатной хвойной небеленой целлюлозы ( $r = 0,69 \dots 0,83$ ).

<sup>1</sup>Работа выполнена в инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России»

<sup>2</sup>Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ  
(Уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004)

## ЛИТЕРАТУРА

1 Технология углеродных адсорбентов. Физико-химический анализ активных углей: учеб. пособие к лабор. практикуму / М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Н.А. Макаревич; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. 96 с.

2 Казаков Я. В., Чухчин Д. Г. Изучение формирования структуры целлюлозных волокнистых материалов с применением криофиксации и лиофилизации // В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. II Междун. науч.-техн. конф. // Архангельск; Северн. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2013. С. 56–63.

3 Казаков Я. В., Чухчин Д. Г., Лебедев И. В. Визуальный анализ развития поверхности целлюлозных волокон при размолу полуфабрикатов. / В сб. «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья»: матер. VI Всерос. конфер. 22-24 апреля 2014 г. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2014. С. 27–29.

4 Казаков Я.В., Лебедев И.В., Чухчин Д.Г., Романенко К.А. Количественная характеристика изменения поверхности волокон хвойной целлюлозы в процессе размолу / В сб. «Физикохимия растительных полимеров» Материалы VI междун. конфер. 22-25 июня 2015 г. Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова; Ин-т экол. Проблем Севера УрО РАН. Архангельск, САФУ, 2015. – С. 120–124.